

胸部画像におけるサブトラクション技術の現状と将来

元熊本大学医学部保健学科
桂川 茂彦 先生

【はじめに】

2つの異なる条件のもとで撮影された2枚の画像から、目的とする陰影を減算によって強調するサブトラクション技術は、医用画像では古くから利用されてきました。血管造影におけるフィルムサブトラクションやDSAは、造影剤が充満された血管だけを抽出できますし、単純画像におけるエネルギーサブトラクションは、骨画像または軟部組織画像を作成することが可能です。また、最近では、撮影時期が数ヶ月から数年も異なる2枚の画像から、その間に出現した新しい病巣や、病巣陰影の経時変化を強調する経時的差分画像技術も、臨床の現場に導入されるようになってきました。胸部単純写真における経時的差分画像では、肋骨などの正常構造や変化のない病巣陰影を消去して、変化した陰影だけを抽出できるために、医師による画像診断の正確さが改善されることが、多くのROC実験で示されています。しかし、経時的差分画像を作るには、過去に撮影された画像を必要とする制約があります。そこで、肺野の左右対称性に着眼して、1枚の胸部画像から、左右反転した胸部画像を減算する対側差分画像技術も研究され、さらに、正常と診断された画像データベースから最も類似した他人の胸部画像を選択して減算する類似差分画像も研究されています。ここでは、胸部画像におけるこのようなサブトラクション技術の現状と将来について概説します。

【胸部単純写真における経時的差分画像】

経時的差分画像法は、撮影時期の異なる過去画像と現在画像の2枚の画像を引き算することにより、その間の経時変化を強調する手法です。ここでは、過去に撮影された画像を過去画像、今回撮影された画像を現在画像と呼ぶことにします。経時的差分画像の特徴は、過去画像から現在画像までの期間中での、新しい病巣陰影の出現の検出、および既存病変の変化の検出を容易にし、さらに、実用的に重要な点として、経時変化が無いことの判断が容易になることです。

胸部単純写真を対象とした経時的差分画像法は1994年にシカゴ大学の土井らのグループが、非線形な画像変形を基礎技術として、最初に開発しました。その後、同じく土井等のグループによる画像変形の技術改良を経て、1999年にシカゴ大学からライセンスを受けた日本の三菱スペースソフトウェアが最初の実用機を開発しました。また、CR(Computed Radiography)システムを利用した経時的差分画像法がいくつかのメーカーから発表されています。さらに、大規模な臨床応用評価としては、1997年に岩手県立中央病院の松岡らが、FCRを搭載したバスを用いた肺ガン集団検診に初めて経時的差分画像を利用しています。

シカゴ大学で開発した経時的差分画像法について概要を述べます^{1,2)}。過去画像と現在画像の間では、一般に患者撮影体位は異なります。そのために、肺野が常に画像の同じ位置に撮影されているとは限らず、また、側屈のために肺野の正中線が垂直となっていない場合も多く経験します。したがって、肺野の位置を同じくするために、まず、過去画像の回転を行い、次に、画像間の大まかな移動量を求めて、過去画像の平行移動を行います(グローバルマ

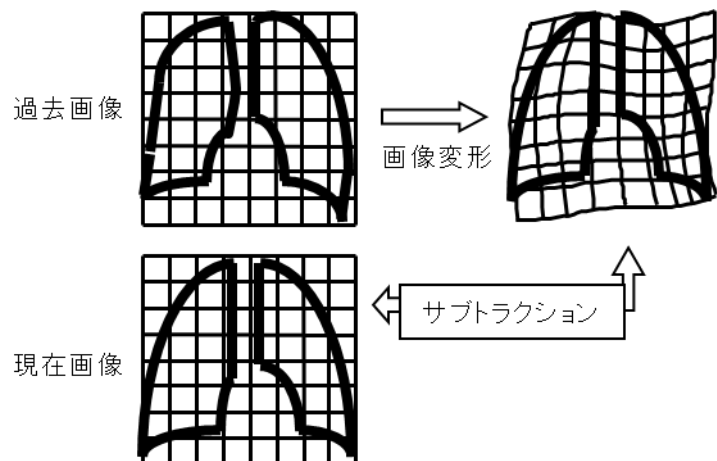


Fig.1 非線形な画像変形

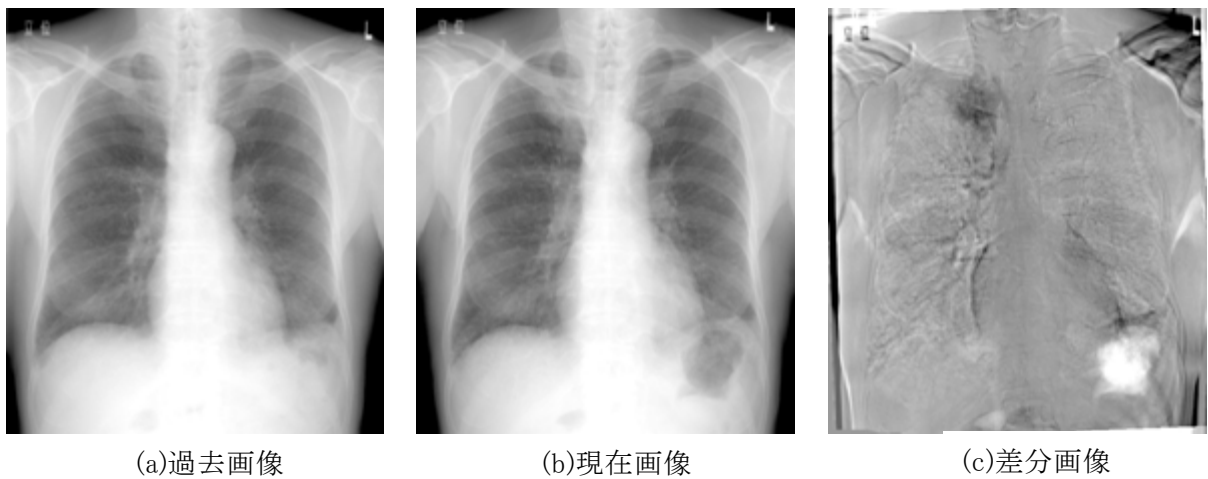


Fig.2 胸部単純写真の経時的差分画像

ッチング)。

さらに、患者撮影体位の変動に前屈や斜位が含まれる場合や、撮影時の息止めの位相が異なる場合には、肺野の形状も変化します。したがって、グローバルマッチングだけでなく、ローカルマッチングによってローカルなシフト量を求め、局所的に非線形な画像変形を行って、過去と現在画像における肺野の形状を揃えなければ、差分したときに大きなアーチファクトが生じてしまいます (Fig.1)。そこで、テンプレートマッチングで局所の変形量を推定して、画像変形を行うことを2回繰り返します (iterative image warping)。最後に、現在画像から変形後の過去画像を差分して、経時的差分画像を作成しています。

肺ガンの症例へ適用した経時的差分画像をFig.2に示します。Fig.2(a)は2年前の過去画像で、腫瘍陰影は出現していません。Fig.2(b)は現在画像で、右上肺野に腫瘍が出現しています。Fig.2(c)は経時的差分画像で、検出が困難な鎖骨に重なる腫瘍が明瞭に強調されているのが分かります。

岩手県予防医学協会は岩手県内の8市町村を対象として実施されている肺ガン集団検診に、世界に先駆けて1997年から経時的差分画像技術を応用しています³⁾。Fig.3に示すように、検診車にFCR装置を搭載し、検診で得られたデジタル画像を光磁気ディスクで予防医学協会に搬送します。その後、ワークステーションでサブトラクション画像を作成して、予防医学協会およびネットワークで接続された岩手県立中央病院にて現在、過去、差分の3画像を2台のモニタに表示して読影しています。2008年までに186,340症例の検査が行われ、そのうち121,526症例(65.2%)に対して経時的差分画像が作成されており、差分画像の利用率は年々高くなってきています。

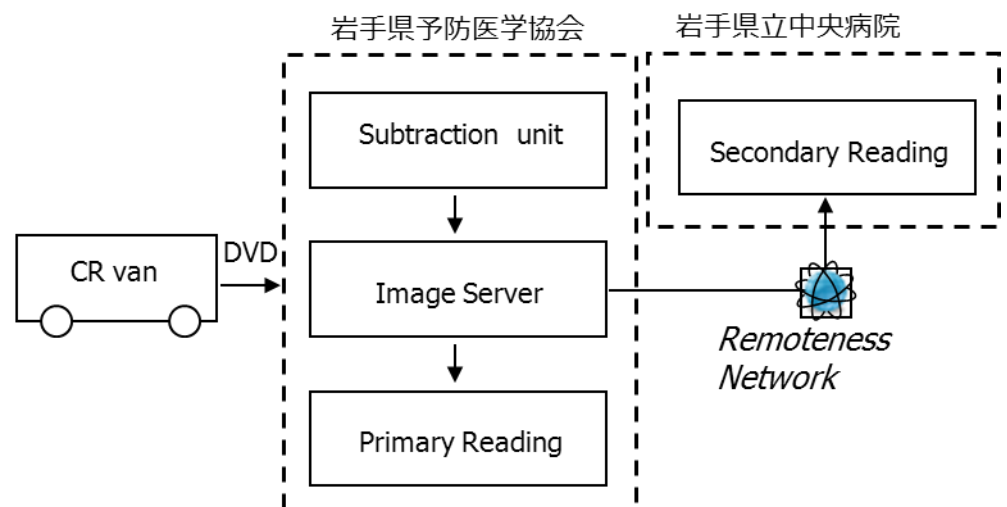


Fig.3 岩手県で実施している肺ガン検診への経時的差分画像の応用

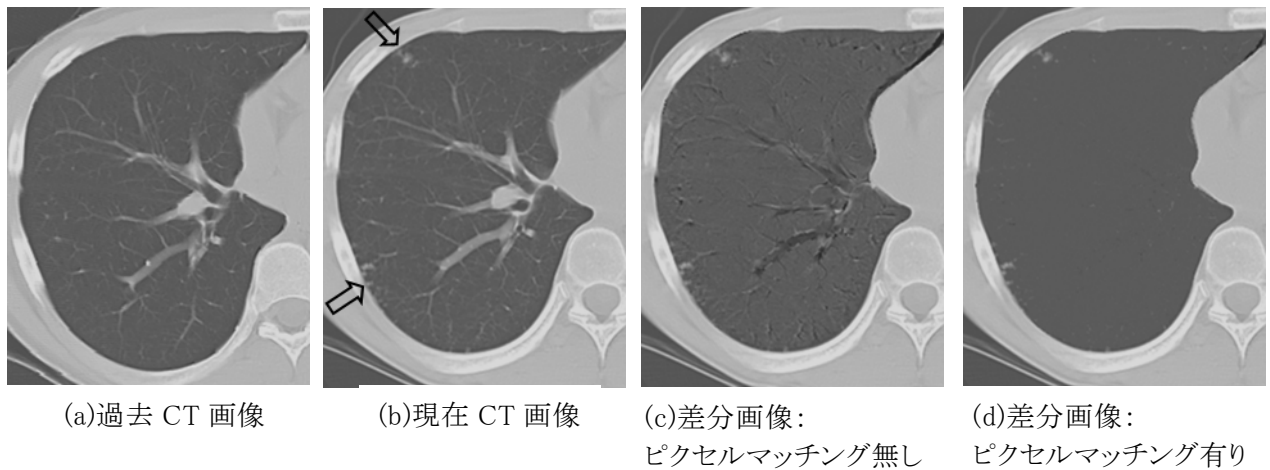


Fig.4 胸部 MDCT における経時的差分画像

【胸部MDCTにおける経時的差分画像】

最近のCTスキャナーの検出器は多列化が進み、胸部画像検査でもCT画像が頻用されています。したがって、CT画像における経時的差分画像法の開発が期待されていました。しかし、CT画像における経時的差分画像は、2次元の胸部単純写真と異なり、過去CT画像と現在CT画像との間で、肺の3次元的位置合わせと非線形の画像変形処理が必要となるので、アルゴリズムは高度でかつ複雑となります。

私たちが開発した手法は、胸部単純写真における経時的差分画像法を3次元に拡張した3次元画像変形法が基本技術になっています⁴⁾。しかし、拍動などわずかな変動に起因するアーチファクトを減少させるために、ボクセルマッチング法を追加しています。従来は現在画像から変形された過去画像を減算するときに、対応する注目ボクセル間の差分を行っていました。しかし、ボクセルマッチングでは、注目ボクセルの近傍を探索領域として、現在画像の注目ボクセル値に最も近いボクセル値を、変形された過去画像から探索して減算を行います。

Fig.4に転移性肺がんの症例に対する経時的差分画像の応用例を示します。Fig.4 (c)は画像変形だけでボクセルマッチングを応用しなかった差分画像です。肺血管のほとんどは消去していますが、拍動による1~2ボクセルの血管の変動のために、エッジ状のアーチファクトが見られます。しかし、Fig.4 (d)に示すように、ボクセルマッチングを適用すると、エッジも含めて肺血管のアーチファクトはほぼ完全に消失して、現在画像に出現した結節状陰影だけが強調して描出されています。

【研究開発中の差分画像技術】

これまでに述べた胸部画像に対する差分画像技術は、過去画像が無ければ差分画像を作ることができません。しかし、差分画像は病巣陰影を強調して描出することが可能なために、過去画像が無い場合にも利用できないかとの要望がありました。そこで、画像の左右対称性を利用する対側 (contralateral) 差分画像法が開発されました⁵⁾。胸部単純写真では、心臓や胸部大動脈のある縦隔部分を除けば、ほぼ左右対称の形をしています。したがって、Fig.5に示すように、左右反転画像を作成してオリジナル画像から減算すれば、濃度分布が非対称な病巣部分は、左右で濃度が反転した陰影で描出されます。しかし、画像の左右反転を行うので、胸部正面の正中線を垂直に補正しておくのが、対側差分画像法では特に重要になります。また、反転画像とオリジナル画像の肺野形状を揃えるためには、経時的差分画像法で利用した非線形画像変形を行っています。

Fig.6に左上肺に腫瘍を有する症例の対側差分画像を示しています。Fig.6(b)の差分画像では腫瘍が存在する左上肺では黒く、その反対側の右上肺には白く描出されています。しかし、大動脈弓部や心臓が左右非対称のために描出されますが、もともと非対称な縦隔部は読影の対象外となることに注意する必要があります。

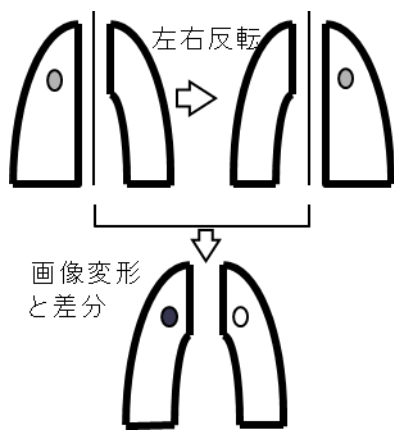
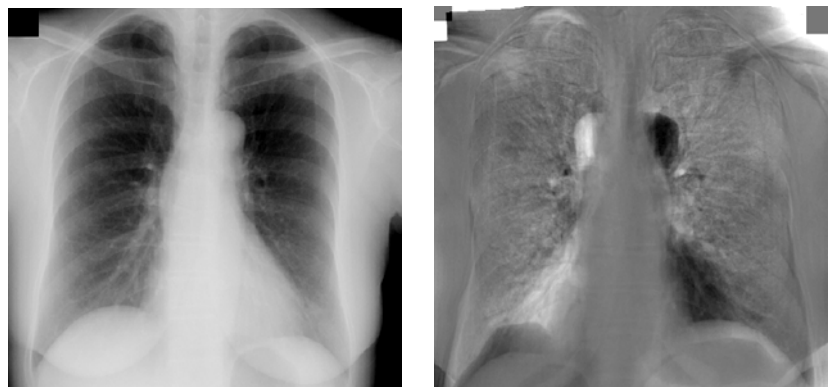


Fig.5 対側差分の概念図



(a)オリジナル画像

(b)対側差分画像

Fig.6 胸部単純写真の対側差分画像

最近PACSが病院には導入され、過去に撮影された多くの症例が蓄積されています。そこで、過去に読影された多数の正常例の胸部単純写真のデータベースから、対象症例に類似した胸部画像を選び出して減算してやれば、もし、異常陰影があれば強調されることが期待されます。このような手法を類似差分画像法と呼んでいます。類似差分画像法では大規模なデータベースから類似した画像を短時間に探索する技術と、高度化した差分画像技術が必要になると思われます。しかし、臨床応用可能な手法が開発されると、PACS環境で蓄積された大規模な画像データの有効な再利用となることが期待されます。

【おわりに】

胸部単純写真およびMDCTの経時的差分画像を中心に、胸部画像に対する差分画像技術の現状と将来について概説しました。差分画像は経時的変化の検出に有効であるばかりでなく、正常例の読影の確信度の改善にも寄与し、読影時間の短縮の効果もあるので、これからますます臨床応用が進むことが期待されます。

【参考文献】

- 1) Kano A, Doi K, MacMahon H, Hassell DD, Giger ML, “Digital image subtraction of temporally sequential chest images for detection of interval change,” Med. Phys, 21(3):453-461, 1994.
- 2) Ishida T, Katsuragawa S, Nakamura N, MacMahon H, Doi K: “Iterative image warping technique for temporal subtraction of sequential chest radiographs to detect interval change.” Med. Phys. 26 (7) : 1320-1329, 1999.
- 3) Sasaki Y, Abe K, Tabei M, Katsuragawa S, Kurosaki A, Matsuoka S:”Clinical usefulness of temporal subtraction method in screening digital chest radiography with a mobile computed radiography system.” Radiol Phys Technol 4:84-90, 2010
- 4) Itai Y, Kim H, Ishikawa S, Katsuragawa S, Doi K:”A new registration method with voxel-matching technique for temporal subtraction images.” Proc SPIE 6915 : 6915311-6915318, 2008.
- 5) Tsukuda S, Heshiki A, Katsuragawa S, Li Q, MacMahon H, Doi K:”Detection of lung nodules on digital chest radiographs: Potential usefulness of a new contralateral subtraction technique.” Radiology 223(1): 199-203, 2002